

DESAIN TUTUP KEPALA DENGAN PEMANFAATAN LOGAM Cu SEBAGAI APLIKASI UNTUK MENENTUKAN LOKASI SINYAL OTAK SAAT BERAKTIFITAS

Dita Hapsoro^{#1}, Ir. Ratna Adil, M.T.^{#2}

[#]Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Kampus PENS-ITS Sukolilo, Surabaya
ditahapsoro@yahoo.com

Abstrak - Electroencephalograph (EEG) adalah perekaman aktifitas listrik di lapisan terluar kulit kepala yang ditimbulkan oleh impuls-impuls yang dihasilkan oleh neuron-neuron di dalam otak. Sinyal EEG diperoleh dengan menempelkan elektroda di permukaan kepala. Namun pemasangan elektroda terkadang menimbulkan ketidaknyamanan pada pasien. Untuk mengatasi masalah tersebut dibuat tutup kepala dengan penahan-penahan elektroda Cu atau AgCl yang diposisikan sesuai dengan sistem peletakan elektrode 10 atau 20, serta modul EEG yang mudah diaktifkan. Hal ini bertujuan untuk memudahkan proses perekaman dan meminimalkan kesalahan dalam penempatan elektroda. Berdasarkan hasil pengujian dua puluh peletakan elektroda didapatkan bentuk sinyal perekaman yang mendekati sinyal yang diharapkan untuk alpha 50%, beta 60% dan teta 10%.

Kata kunci: EEG, tutup kepala berelektroda, sistem peletakan elektroda.

I. PENDAHULUAN

Otak merupakan bagian dari susunan syaraf pusat yang terdapat di dalam tengkorak. Otak memiliki peran yang sangat penting di dalam tubuh manusia, yaitu mengatur dan mengkoordinasikan semua aktifitas tubuh. Dalam setiap aktifitasnya otak selalu menghasilkan sinyal-sinyal listrik yang ditimbulkan oleh neuron-neuron yang ada di dalam otak.

Electroencephalograph (EEG) adalah perekaman aktifitas listrik di lapisan terluar kulit kepala yang ditimbulkan oleh impuls-impuls yang dihasilkan oleh neuron-neuron di dalam otak. Umumnya sinyal EEG digunakan untuk mendiagnosa penyakit yang berkaitan dengan otak dan kejiwaan seperti epilepsy, tumor otak, mendeteksi posisi otak yang terluka, membantu mendiagnosa gangguan mental, menangkap persepsi orang terhadap suatu rangsangan dari luar, dan sebagainya. Karakteristik sinyal EEG tidak periodik, tidak mempunyai pola baku, dan mempunyai amplitudo tegangan yang kecil, sehingga sangat mudah tertimbun noise.

Sinyal EEG diambil dengan menempelkan elektroda di kulit kepala. Elektroda adalah sebuah sensor elektrokimia

yang mampu mengukur aliran ion di sepanjang serabut syaraf. Pemasangan elektroda secara satu persatu terkadang menimbulkan ketidaknyamanan pada pasien dan membutuhkan waktu yang lama. Untuk mengatasi masalah tersebut dibuat tutup kepala dengan penahan-penahan elektroda yang diposisikan sesuai dengan sistem peletakan elektrode 10 atau 20, serta modul EEG yang mudah diaktifkan. Hal ini bertujuan untuk memudahkan proses perekaman dan meminimalkan kesalahan dalam penempatan elektroda.

A. Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang akan dibahas adalah:

1. Bagaimana desain tutup kepala berelektroda yang dapat digunakan untuk merekam sinyal otak.
2. Bagaimana rangkaian penguat pada modul EEG.
3. Bagaimana sinyal hasil rekaman dari alat yang dibuat

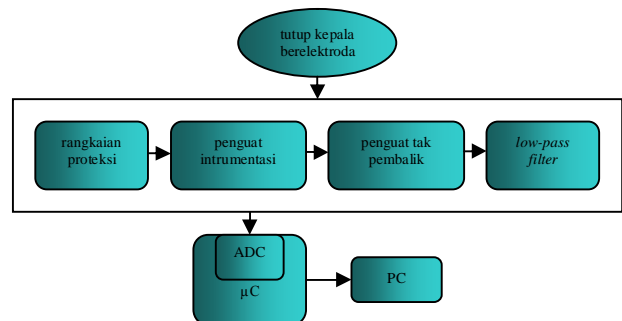
B. Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan dibahas sebagai berikut:

1. Tutup kepala yang digunakan untuk ukuran remaja.
2. Sinyal otak yang direkam alpha, beta, dan teta.

II. PERENCANAAN ALAT

Alat ini terdiri dari blok-blok rangkaian yang memiliki fungsi sendiri-sendiri dan terintegrasi menjadi satu untuk menjadi sebuah sistem yang lengkap. Gambar 1 berikut menunjukkan blok diagram alat secara keseluruhan.



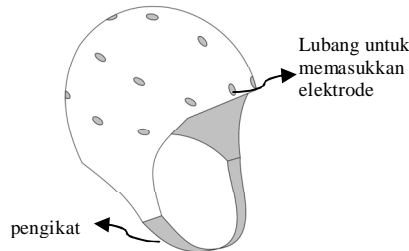
Gambar 1. blok diagram alat

A. PERENCANAAN HARDWARE

Dari blok diagram pada gambar 1 dapat dijabarkan sebagai berikut.

1). Tutup kepala berelektroda

Ukuran dari tutup kepala harus sesuai dengan ukuran kepala subyek. Berikut adalah desain tutup kepala yang akan dibuat:



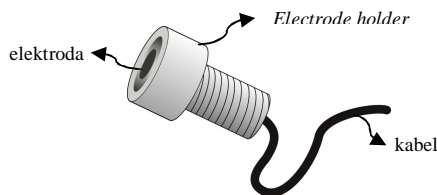
Gambar 2. tutup kepala berelektroda

Tutup kepala terbuat dari bahan kain yang elastis sehingga memiliki kelebihan dapat menyesuaikan dengan bentuk kepala subyek dan dapat terpasang dengan rapat. Tutup kepala yang rapat akan menjadikan elektroda menempel dengan baik dan tidak mudah bergeser.

Tabel 1. Ukuran Kepala

	lingkar samping (cm)	lingkar atas (cm)
anak-anak (3-10 th)	48-51	±33
Remaja	53-56	±40
pria dewasa	58-61	±41
wanita dewasa	53-55	±43

Elektrode yang akan digunakan terdiri dari dua bagian. Bagian pertama adalah *electrode holder* yang terbuat dari plastik. Dan bagian kedua adalah elektrode itu sendiri yang berbentuk piringan kecil berbahan logam Cu. Berikut adalah desain elektrode yang akan digunakan.



Gambar 3. Desain Elektrode

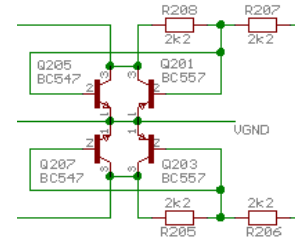
2). Rangkaian proteksi

Sebelum memasuki rangkaian penguat, sinyal melewati rangkaian proteksi. Rangkaian ini terdiri dari susunan transistor NPN dan PNP. Rangkaian ini berfungsi melindungi rangkaian penguat dari *electrostatic discharge* dan melindungi subyek (pemakai) dari kejutan elektrik apabila terjadi kesalahan rangkaian.

Rangkaian ini bekerja berdasarkan prinsip rangkaian *clamping*. Susunan transistor-transistor tersebut akan melewati semua arus yang berbahaya apabila terdapat tegangan melebihi $\pm 0,58$ volt ke *ground*.

Tabel 2. Spesifikasi transistor

BC547 (NPN)		BC557 (PNP)	
V_{BE} (on)	Min = 0,58 V	V_{BE} (on)	Min = -0,6 V
	Max = 0,7 V @ $V_{CE} = 5V$ $I_C = 2mA$		Max = -0,75 V @ $V_{CE} = -5V$ $I_C = -2mA$

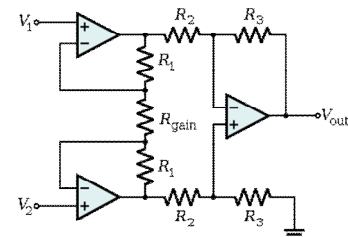


Gambar 4. rangkaian proteksi

3). Penguat instrumentasi

Sinyal yang dihasilkan oleh otak memiliki nilai yang sangat kecil yaitu berorde mikrovolt. Oleh karena itu sinyal tersebut perlu dikuatkan. instrumentasi adalah penguat diferensial yang dilengkapi dengan buffer pada masukannya, yang berfungsi untuk menghilangkan kebutuhan akan penyesuaian impedansi masukan sehingga rangkaian ini sesuai untuk digunakan sebagai rangkaian pengukuran.

Pada bagian ini sinyal akan dikuatkan sebanyak 12 kali. Tujuan dari sinyal yang hanya dikuatkan sebanyak 12 kali adalah untuk menghindari noise yang bisa ikut dikuatkan juga. Bila sinyal langsung dikuatkan dengan penguatan yang besar maka noise akan ikut dikuatkan dalam penguatan yang besar pula. Hal ini akan mengganggu sinyal EEG yang asli yang akan direkam.



Gambar 5. rangkaian penguat instrumentasi

Persamaan yang digunakan untuk menentukan penguatan tegangan dari rangkaian tersebut adalah:

$$\frac{V_{out}}{V_2 - V_1} = \left(1 + \frac{2R_1}{R_{gain}} \right) \frac{R_3}{R_2} \dots\dots\dots (1)$$

Pada alat ini menggunakan rangkaian penguat yang terintegrasi di dalam IC yaitu INA114. IC ini memiliki kelebihan ciri antara lain DC offset sangat rendah, noise rendah, open-loop gain yang tinggi, common-mode rejection ratio yang tinggi dan impedansi input yang tinggi.

Dalam IC INA114 nilai-nilai resistansi internal R1, R2 dan R3 adalah 25 Ω , maka persamaan 1 di atas menjadi:

$$G = \frac{V_{out}}{V_2 - V_1} = \left(1 + \frac{2 \times 25k\Omega}{R_{gain}}\right) \frac{25k\Omega}{25k\Omega} \dots\dots\dots (2)$$

$$G = \left(1 + \frac{50k\Omega}{R_{gain}}\right) \dots\dots\dots (3)$$

Rangkaian ini memiliki ciri antara lain DC offset sangat rendah, noise rendah, open-loop gain yang tinggi, common-mode rejection ratio yang tinggi dan impedansi input yang tinggi.

Untuk mendapatkan pengauatan sebesar 12 kali, maka nilai R_{gain} yang harus dipasang adalah:

$$12 = 1 + \frac{50k\Omega}{R_G} \dots\dots\dots (4)$$

$$R_G = 4.5k\Omega \approx 4.4k\Omega \dots\dots\dots (5)$$

Nilai resisor sebesar 4,4 k Ω didapatkan dengan menghubungkan dua resistor 2,2 k Ω secara seri.

4). Penguat tak pembalik

Setelah dikuatkan oleh penguat instrumentasi, sinyal kemudian dikuatkan lagi dengan menggunakan rangkaian penguat tak pembalik. Pada bagian ini sinyal bisa dikuatkan sebanyak 6 hingga 100 kali. Penguatan bisa diatur dengan merubah nilai resistansi variabel resistor yang dirangkai seri dengan R_{in} rangkaian.

Nilai-nilai resistor yang digunakan adalah $R_f = 100$ k Ω , variabel resistor $R_3 = 20$ k Ω . Sehingga nilai resistor R_{in} yang digunakan dapat ditentukan dengan menggunakan rumus penguatan rangkaian tak pembalik.

$$A = \left(\frac{R_f}{R_{in}} + 1\right) \dots\dots\dots (6)$$

Misal pada penguatan maksimal 100 kali di mana pada kondisi ini nilai variabel resistor $R_3 = 0$ k Ω , maka:

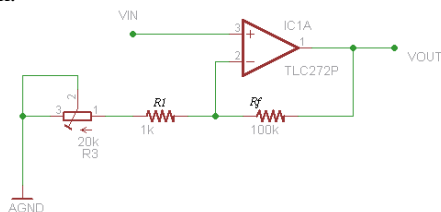
$$100 = \left(\frac{100k\Omega}{R_1 + 0k\Omega} + 1\right) \dots\dots\dots (7)$$

$$\frac{99}{100k\Omega} = \frac{1}{R_1 + 0k\Omega} \dots\dots\dots (8)$$

$$R_1 = \frac{100k\Omega}{99} \dots\dots\dots (9)$$

$$R_1 \approx 1k\Omega \dots\dots\dots (10)$$

Gambar 10 menunjukkan rangkaian dari penguat tak pembalik.



Gambar 6. rangkaian penguat tak pembalik

5). Low-pass filter

Frekuensi isnyal EEG adalah antara di bawah 1 Hz hingga 50 Hz. Oleh karena itu sinyal kemudian melewati rangkaian *low-pass* filter untuk membuang sinyal yang tidak diperlukan. Jenis *low-pass* filter yang digunakan adalah butterworth orde 3. Filter ini memiliki respon *stopband* yang baik. Filter ini dibentuk dengan merangkai secara seri filter *low-pass* orde 1 dengan filter *low-pass* orde 2.

First-order low-pass butterworth filter

- menentukan frekuensi cut off f_h
 $f_h = 49$ Hz

- menentukan nilai $C \leq 0,1\mu F$
 $C = 220$ nF

- mencari nilai R

$$R = \frac{1}{2\pi \times f_h \times C}$$

$$R = \frac{1}{6.28 \times 49 \times 220 \times 10^{-9}}$$

$$R = 14771,397 \approx 20k\Omega \text{ (variabel resistor)}$$

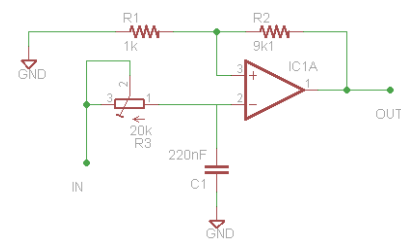
- mencari nilai R_1 dan R_f berdasarkan A yang diinginkan

$$A_f = 10$$

$$A_f = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

Misal $R_1 = 1k\Omega$, maka:

$$R_f = 9k\Omega \approx 9,1k\Omega$$



Gambar 7. first order LPF

Second-order low-pass butterworth filter

- menentukan frekuensi cut off f_h
 $f_h = 49$

- menentukan $R_2 = R_3 = R$ dan $C_2 = C_3 = C$ dimana $C \leq 1 \mu F$
 $C = 220$ nF

- mencari nilai R

$$R_2 = R_3 = \frac{1}{2\pi \times f_h \times C}$$

$$= \frac{1}{6.28 \times 49 \times 220 \times 10^{-9}}$$

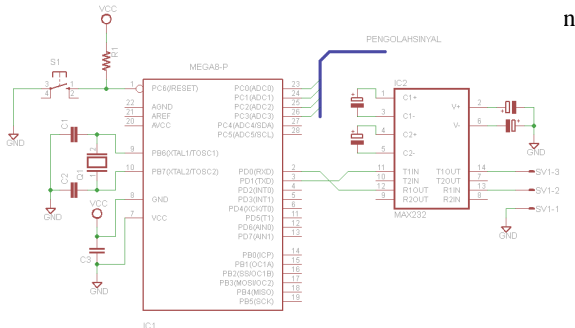
$$= 14771,397 \approx 15k\Omega$$

- $$Af = 1 + \frac{Rf}{R1} = 1,586$$

$$R_f = 0,586 \times 10 k\Omega$$

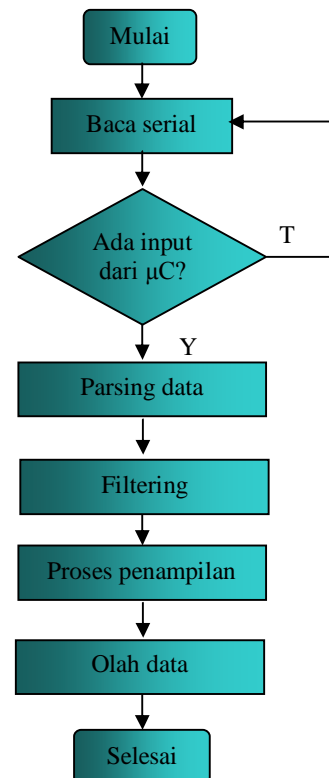
The image shows two circuit diagrams for Butterworth low-pass filters. The left diagram is labeled '1st order' and features an op-amp (IC1A) configured as a voltage follower. The input signal (IN) passes through a 1kΩ resistor (R4) to the non-inverting input (pin 3). The inverting input (pin 2) is connected to ground through a 10kΩ feedback resistor (RF1) and to the output (pin 1) through a 1kΩ resistor (R5). A 220nF capacitor (C1) is connected from the inverting input to ground. The right diagram is labeled '2nd order' and uses two op-amp stages (IC1A and IC1B). The first stage (IC1A) is a voltage follower with its non-inverting input (pin 3) connected to the input (IN) through a 1kΩ resistor (R4). Its inverting input (pin 2) is connected to ground through a 10kΩ feedback resistor (RF1) and to the output (pin 1) through a 1kΩ resistor (R5). A 220nF capacitor (C1) is connected from the inverting input to ground. The output of the first stage (pin 1) is connected to the non-inverting input (pin 3) of the second stage (IC1B) through a 15kΩ resistor (R2). The second stage (IC1B) is configured as a voltage follower with its inverting input (pin 2) connected to ground through a 15kΩ feedback resistor (R3) and to the output (pin 1) through a 10kΩ feedback resistor (RF). A 220nF capacitor (C2) is connected from the inverting input to ground. The output of the second stage (pin 1) is connected to the output (OUT) through a 220nF capacitor (C3).

Setelah melewati rangkaian pengkondisi, sinyal kemudian mengalami proses konversi ke bentuk digital. Proses konversi tersebut menggunakan ADC internal dari mikrokontroler.

[illegible]

```
graph TD; A[Mulai] --> B[/Inisialisasi/]; B --> C[Baca ADC tiap channel]; C --> D[Kirim data tiap channel ke PC]; D --> E[Selesai]; C --> B;
```

1. Menginisialisasi ADC dan UART
2. Mengaktifkan ADC.
3. Untuk setiap channel dari ADC:
 - Mulai sampling.
 - Baca hasil sampling dan restart ADC.
4. Memasukkan data sampling ke UART data register.
5. Mengirim data setiap channel melalui serial.
6. Kembali ke awal.



4

III. PENGUJIAN DAN ANALISA

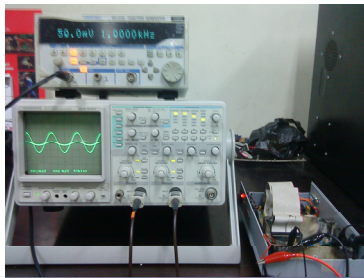
Bagian ini membahas mengenai pengujian dan analisa alat dan data untuk mengetahui tingkat keberhasilan alat yang telah dibuat.

1). Pengujian penguat instrumentasi

Pengujian penguat instrumentasi dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian tersebut dapat bekerja dengan sesuai dengan perencanaan dengan penguatan 12 kali. Pengujian dilakukan dengan memberikan sinyal input dari *function generator* dan melihat penguatannya dengan menggunakan *oscilloscope*. Berikut adalah hasil pengujian dari penguat instrumentasi:

Tabel 3. pengujian penguat instrumentasi

Gain perhitungan	Vin (mVpp)	Vout (Vpp)	Gain pengukuran	Error (%)
12	100	1,2	12	0
	120	1,46	12,2	1,7
	140	1,68	12	0
	160	2	12,5	4,2
	180	2,2	12,2	1,7



Gambar 14. pengujian penguat instrumentasi

Rata-rata error yang didapatkan dari lima kali pengukuran adalah 1,52. Kesalahan yang muncul dapat disebabkan karena rugi-rugi komponen dan juga kesalahan dari pembacaan pengukuran.

2). Pengujian penguat tak pembalik

Penguat tak pembalik direncanakan melakukan penguatan sebesar 6 hingga 100 kali dengan mengatur variable resistor pada rangkaian. Berikut adalah hasil pengujian dari penguat tak pembalik:

Tabel 4. pengujian penguat tak pembalik

Rin	Vin (mVpp)	Vout (Vpp)	Gain perhitungan	Gain pengukuran	Error (%)
1k	100	9,8	101	98	1,98
2k2		4,4	46,4	44	5,17
4k7		2,1	22,3	21	5,82
10k		1,12	11	11,2	1,81
20k		0,59	6	5,9	1,66

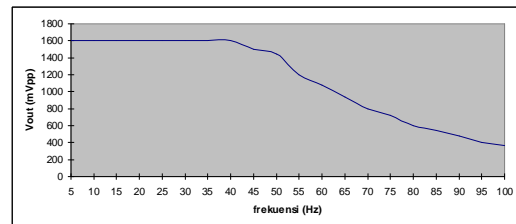
Dari pengujian diketahui rata-rata kesalahan yang terjadi dalam lima kali pengujian adalah 3,2. Kesalahan yang muncul dapat disebabkan karena rugi-rugi komponen dan juga kesalahan dari pembacaan pengukuran.

3). pengujian *low pass filter*

Pengujian pada rangkaian *low pass filter* dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian ini mampu menyaring sinyal dengan frekuensi *cut off* yang diinginkan yakni 49Hz. Pengujian dilakukan dengan memberikan sinyal input 100mVpp dengan frekuensi yang bertahap dari *function generator* dan melihat output sinyal yang dihasilkan dengan *oscilloscope*.

Tabel 5. pengujian *low pass filter*

frekuensi	Vout (mVpp)
5	1600
10	1600
15	1600
20	1600
25	1600
30	1600
35	1600
40	1600
45	1500
50	1440
55	1200
60	1080
65	940
70	800
75	720
80	600
85	540
90	480
95	400
100	370



Gambar 15. respon frekuensi *low pass filter*

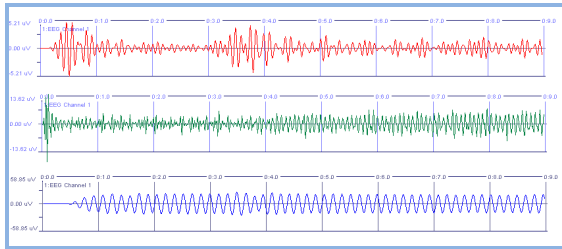
4). Pengujian tutup kepala berelektroda

Tutup kepala berelektroda diuji untuk mengetahui apakah elektroda yang diletakkan pada tutup kepala mampu mengambil sinyal dari kepala subyek. Pengujian dilakukan dengan sinyal memasang elektroda pada tutup kepala di Biopac.



Gambar 16. Tutup Kepala

Berikut adalah hasil pengujiannya:



Gambar 17. sinyal rekaman Biopac dengan elektroda pada tutup kepala

Dari gambar di atas diketahui bahwa sinyal dapat terbaca oleh Biopac, dengan demikian elektroda yang diletakkan di tutup kepala dapat digunakan untuk mengambil sinyal otak.



Gambar 18. Penahan Elektroda dan Elektroda

5). Pengujian alat

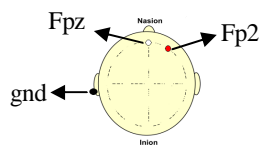
Pada bagian ini alat akan diuji secara menyeluruh, dengan mengintegrasikan *hardware* dan *software*. Pengujian dilakukan dengan merekam 20 sinyal eeg alpha, beta dan teta dari titik-titik peletakan elektroda di kepala pasien. Kemudian hasil rekaman tersebut dibandingkan dengan sinyal perekaman menggunakan Biopac MP30. Pada perekaman, pasien berada pada aktifitas berpikir untuk menyelesaikan soal matematika yang diberikan secara lisan.



Gambar 19. hardware Modul EEG

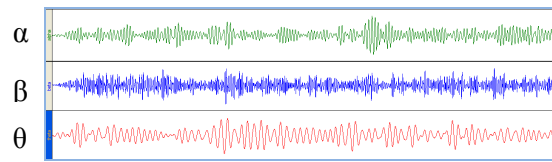
- Titik Fpz-Fp2

Elektroda negatif diletakkan pada titik Fpz, elektroda positif diletakkan pada titik Fp2 dan ground diletakkan pada telinga.



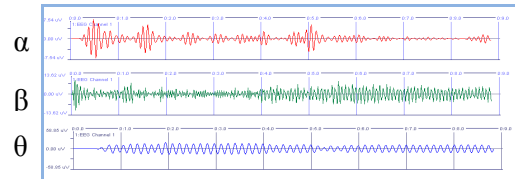
Gambar 20. Peletakan Elektroda Di Titik Fpz-Fp2

Pada gambar 21 menunjukkan hasil perekaman dengan Biopac MP30.



Gambar 21. Perekaman Dengan Biopac MP30

Pada gambar 22 menunjukkan hasil perekaman dengan modul EEG.



Gambar 22. Perekaman Dengan Modul EEG

Sinyal hasil perekaman dengan modul EEG menunjukkan bahwa sinyal alpha (α) dan beta (β) memiliki bentuk dan kerapatan yang mendekati sinyal rekaman pada Biopac MP30. Sedangkan sinyal teta (θ) tidak memiliki bentuk dan kerapatan yang mendekati sinyal rekaman dengan Biopac MP30. Perbedaan dapat disebabkan karena kesalahan perekaman atau karena kondisi otak yang berubah akibat perbedaan waktu dalam perekaman yaitu 1 hari.

Berdasarkan sinyal-sinyal perekaman yang diperoleh dari dua puluh macam peletakan elektroda, dapat dianalisa beberapa hal. Untuk alpha dilihat dari kerapatannya, bentuk sinyal yang mendekati sinyal dari Biopac MP30 didapatkan 10 titik, yaitu pada peletakan di titik Fpz-Fp2, Fpz-Fp1, Fz-F8, Fz-F5, Cz-T3, Cz-C4, Cz-C3, Pz-P4, F7-F3, dan T6-P4.

Untuk beta, dilihat dari kerapatannya, bentuk sinyal yang mendekati sinyal dari Biopac MP30 didapatkan 12 titik yaitu pada peletakan di titik Fpz-Fp2, Fz-F8, Fz-F4, Cz-T4, Cz-T3, Cz-C4, Cz-C3, Pz-P4, Oz-O2, Oz-O1, T6-P4, dan T5-P3.

Sedangkan untuk teta, dilihat dari kerapatannya, bentuk sinyal yang mendekati sinyal dari Biopac MP30 didapatkan 2 titik yaitu Oz-O2 dan T5-P3. Adanya ketidaksesuaian disebabkan karena perekaman dilakukan secara terpisah antara perekaman dengan modul EEG dengan Biopac MP30. Karena aktifitas syaraf di otak berubah setiap saat, sehingga perekaman yang terpisah akan diikuti dengan aktifitas syaraf di otak yang berbeda.

6). Pengujian pada aktifitas lain

Pada bagian ini dilakukan perekaman dengan memberikan beberapa aktifitas lain kepada pasien yang sesuai dengan fungsi otak kanan dan otak kiri. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui bentuk sinyal pada aktifitas tersebut. Tabel 6 dan tabel 7 adalah hasil perekaman yang diperoleh pada pengujian aktifitas lain.

Tabel 6. Hasil Perekaman Aktifitas Pada Otak Kanan

Aktifitas Otak	Biopac MP30			Alat ukur			Ket.
	α	β	θ	α	β	θ	
Kanan							
Rileks							terdeteksi
(uV)	0.0055 3	0.0649 1	0.1514 7	0.00864	0.0167 6	0.09509	
Olah raga							terdeteksi
(uV)	0.3080 7	0.4957 1	0.1893 7	0.19800	0.1915 0	0.49471	
Melihat TV							tidak
(uV)	0.0064 9	0.0122 5	0.1259 2	0.00057	0.0003 9	0.00030	
Musik							terdeteksi
(uV)	0.0255 7	0.0196 8	0.0080 8	0.00454	0.0254 6	0.07184	

Tabel 7. Hasil Perekaman Aktifitas Pada Otak Kiri

Aktifitas Otak Kiri	Biopac MP30			Alat ukur			Ket.
	α	β	θ	α	β	θ	
Berpikir							terdeteksi
	0.0171 7	0.0717 4	0.0449 5	0.0116 8	0.0782 2	0.0556 1	
Matematika							terdeteksi
(uV)	0.0356 7	0.0059 9	0.0448 9	0.0021 3	0.0475 6	0.0059 1	
Game							terdeteksi
(uV)	0.0214 4	0.0491 1	0.0373 9	0.2376 1	0.1134 1	0.1701 9	
Baca							tidak
(uV)	0.0183 0	0.0715 3	0.0588 6	0.0007 1	0.0004 9	0.0002 1	

Dari data pengukuran pada pasien dengan jenis kelamin laki-laki usia 23 tahun, dapat diketahui bahwa pada otak kanan terdapat satu aktifitas yang tidak dapat terekam dengan baik sinyalnya yakni pada saat melihat televisi. Dan pada aktifitas olah raga, sinyal yang diperoleh banyak terdapat noise.

Kemudian pada perekaman di otak kiri juga terdapat satu aktifitas yang tidak dapat terekam dengan baik sinyalnya yakni pada saat membaca. Dan pada aktifitas bermain, sinyal yang diperoleh memiliki noise. Prosentase sinyal dapat terekam pada delapan aktifitas yang dilakukan adalah 75%.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil yang diperoleh dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tutup kepala terbuat dari bahan kain elastis dengan lubang-lubang untuk peletakan elektroda yang sesuai dengan titik-titik pada sistem peletakan elektroda.
2. Pada modul EEG untuk rangkaian penguat instrumentasi didapatkan rata-rata error 1,52%, dan untuk rangkaian penguat tak pembalik 3,2%.
3. Dari dua puluh peletakan elektroda didapatkan bentuk sinyal perekaman yang mendekati sinyal dari Biopac MP30 untuk alpha 10 titik, beta 12 titik dan teta 2 titik.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] _____. "AT Mega8 Datasheet". Atmel
- [2] Adiguna, Buce Patria, 2007, "Tugas Akhir: Algoritma Pendeteksi Otomatis Dan Pengurangan Dari Periode ECG ke Periode EEG Paska Aktifitas Dengan Menggunakan Histogram". Surabaya. PENS-ITS
- [3] Bayu, Bima Sena. 2008. "Slide Filter Digital". Surabaya. PENS-ITS.
- [4] Gayakwad, Ramakant A. 1992. "Op-amps and Linear Integrated Circuits". Prentice-Hall. USA
- [5] <http://en.wikipedia.org/wiki/EEG> (diakses pada 4 April 2009)
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/Operational_amplifier (diakses pada 24 Januari 2010)
- [7] <http://openeeg.sourceforge.net> (diakses pada 4 April 2009)
- [8] Hughes, Frederick W. 1994. "Panduan Op Amp". Jakarta. Elexmedia Komputindo
- [9] Irwin, Allen. 2007. "Tugas Akhir: Kontrol Mobile Robot Berbasis Sinyal EEG: Pengenalan Sinyal EEG Sebagai Sinyal Kontrol". Surabaya. PENS-ITS
- [10] Kemalasar. 2009. "Slide EEG (Electroencephalograph)". Surabaya. PENS-ITS
- [11] Kemalasar. 2009. "Slide elektroda". Surabaya. PENS-ITS
- [12] Kemalasar. 2009. "Slide Otak dan Sistem Saraf". Surabaya. PENS-ITS
- [13] Setiawan, Tri Budhi. 2005. "Tugas Akhir: Rancang Bangun Eelctroencephalograph Berbasis Mikrokontroller". Surabaya. PENS-ITS
- [14] Widiyanto, Ridla. 2004. "Tugas Akhir: Rancang Bangun Elektroencephalograph Dengan 8 Elektrode Berbasis PC". Surabaya. PENS-ITS